

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO
TRANSFORMADO A PARTIR DE UN VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA

ALEXIS DAVID TABIMA MURILLO

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR:

PhD. EDGAR RESTREPO SALAZAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA

2019

Pereira, Julio 2019

Nota de aceptación:

Firma del Director de Proyecto

DEDICATORIA

A Dios porque hasta aquí me ha guardado.

A mis padres, por su constante lucha y esfuerzo para sacar nuestra familia adelante. A mis hermanos, en especial a Ángela y Andrés quienes con su amor incondicional su resiliencia y valentía prepararon el camino para sus hermanos. Para toda mi familia porque siempre son un apoyo absoluto y siempre han sido mi orgullo.

Alexis David Tabima Murillo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi profesor y director de proyecto de grado Dr. Edgar Salazar Restrepo por su apoyo y pasión para sacar este proyecto adelante.

Al semillero de investigación de energías renovables

A la universidad tecnológica de Pereira que me formo y me dio las herramientas para ser una persona íntegra.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1. MARCO TEÓRICO.....	11
1.1. Vehículo eléctrico.....	11
1.1.2. Evolución de los vehículos eléctricos.....	12
1.2. Baterías.....	14
1.2.1. Algunos Parámetros de las baterías.....	15
1.2.2. Baterías de litio.....	16
1.2.3. Comparación de diferentes tipos de baterías.....	18
1.3. Motor eléctrico.....	19
1.3.1. Comparación de un motor eléctrico Vs un motor de combustión interna.....	19
1.3.2. Características del motor eléctrico del vehículo en estudio.....	20
2. METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS.....	22
2.1. Pruebas en Laboratorio.....	22
2.1.1. Pruebas en dinamómetro.....	22
2.1.2. Pruebas en Rodillos.....	23
2.2. Pruebas en carretera.....	23
2.2.1. Recorrido UTP-CONDINA.....	24
2.2.2. Recorrido UTP- La Virginia.....	24
2.2.3. Recorrido UTP-Santa Rosa.....	25
2.2.4. Recorrido UTP-La Paila.....	26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	27
3.1. Resultados Obtenidos.....	27
3.1.1. Resultados de pruebas en dinamómetro.....	27
3.1.3. Resultados pruebas en carretera.....	30
3.2. Análisis de resultados.....	38
3.2.1. Análisis de pruebas en dinamómetro.....	38
3.2.2. Análisis de las pruebas en rodillos.....	39
3.3.3. Resultados de pruebas en carretera.....	40
4. CONCLUSIONES.....	43
5. RECOMENDACIONES.....	44

6. BIBLIOGRAFÍA.....	45
----------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Capacidad de Carga Batería de 42 Ah (Vargas Fabre,2012)	15
Figura 2 Par motor: Nissan Leaf Vs Nisan 1,6 (Rodriguez Brais, 2011)	19
Figura 3 Potencia mecánica: Nissan Leaf Vs Nisan 1,6 (Rodriguez Brais, 2011)	20
Figura 4 Características motor electico Ac 7,5 kW (Fabricante)	21
Figura 5 Montaje de ejes de salida a dinamómetro. (Salazar Edgar (018).	22
Figura 6 Pruebas en rodillo (Salazar Edgar, 2018).....	23
Figura 7 Trayecto UTP <> Condina	24
Figura 8 Trayecto UTP- La Virginia	25
Figura 9 Trayecto UTP- Santa Rosa.....	25
Figura 10 Trayecto UTP- La paila.....	26
Figura 11 Comportamiento del par primera marcha	27
Figura 12 Comportamiento de la potencia mecánica primera marcha	28
Figura 13 Comportamiento del par segunda marcha.....	28
Figura 14 Comportamiento de la potencia mecánica segunda marcha	29
Figura 15 Comportamiento del par tercera marcha.....	29
Figura 16 Comportamiento de la potencia mecánica tercera marcha.....	29
Figura 17 Pruebas en rodillo ciclo de manejo NEDC (New European Driving cycle)	30
Figura 18 Potencia Vs Tiempo UTP-Condina.....	30
Figura 19 Altura y Velocidad Trayecto UTP -Condina	31
Figura 20 Potencia Vs Tiempo Trayecto Condina-UTP	31
Figura 21 Altura y Velocidad Trayecto Condina-Utp.....	31
Figura 22 Potencia Vs Tiempo UTP-La Virginia.....	32
Figura 23 Altura y Velocidad Trayecto La Virginia-UTP	33
Figura 24 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Virginia-UTP	33
Figura 25 Altura y Velocidad Trayecto La Virginia-UTP	33
Figura 26 Potencia Vs Tiempo UTP-Santa Rosa	34
Figura 27 Altura y Velocidad Trayecto La UTP-Santa Rosa.....	35
Figura 28 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Virginia-UTP	35
Figura 29 Altura y Velocidad Trayecto Santa Rosa-UTP	35
Figura 30 Potencia Vs Tiempo UTP-La Paila	36
Figura 31 Altura y Velocidad Trayecto La UTP-La paila.....	36
Figura 32 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Paila-UTP	37
Figura 33 Altura y Velocidad Trayecto La Paila-UTP.....	37
Figura 34 Potencia mecánica para las diferentes marchas	38
Figura 35 Par para las diferentes marchas	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Línea de tiempo del vehículo eléctrico.....	14
Tabla 2 Cuadro comparativo para diferentes tipos de baterías.....	18
Tabla 3 Relaciones de transmisión según marcha del vehículo.	27
Tabla 4 Parámetros de Trayecto UTP<> Condina	32
Tabla 5 Resultados de Trayecto UTP- La Virginia	34
Tabla 6 Resultados de Trayecto UTP-Santa Rosa.....	36
Tabla 7 7 Resultados de Trayecto UTP<> La Paila	37
Tabla 8 Resumen de resultados	42

INTRODUCCIÓN

El mundo desarrolló una matriz energética para atender el exigente consumo de una sociedad capitalista con un crecimiento desbordado que requería ingentes cantidades de energía. El siglo XX fue el siglo del petróleo: donde creció de manera exponencial el número de vehículos, se desarrolló la aviación y el transporte, y se avanzó en otro tipo de tecnologías que en conjunto requerían gran cantidad de energía. Siendo el petróleo, el carbón y el gas natural los recursos energéticos más abundantes, fue a partir de estas fuentes que creció la economía global. No obstante, a finales del siglo XX el mundo empezó a ver de soslayo que los efectos ambientales de estas fuentes de energía podrían traer consecuencias funestas para la supervivencia humana (*Colombia y la transición energética*, 2018, p.2).

La gran contaminación generada por los vehículos de combustión interna impulsado por los combustibles fósiles, la tendencia de estos a subir sus precios debido a su limitada fuente está logrando que la industria del transporte automotriz se encuentre en busca de una transición energética que permita contribuir en la disminución de la contaminación ambiental que sea armoniosa para el medio ambiente y económicamente rentable. Los vehículos eléctricos parecen ofrecer buenas alternativas que pueden competir con el vehículo de combustión interna, aunque hoy en día se puedan observar vehículos eléctricos en el mercado, sus prestaciones en cuanto a potencia y autonomía pueden llegar a ser un poco menores y la relación costo/beneficio puede ser más alta para este tipo de vehículos, tendencia que año tras año va en mejora.

El proyecto consiste en el desarrollo de pruebas de la dinámica de tracción en dinamómetro, curvas de potencia y par de torsión vs. velocidad de giro, desarrollo de pruebas en carretera de consumo eléctrico con diferentes condiciones y exigencias de demanda de potencia de un vehículo eléctrico, dicho vehículo es un automóvil sprint que cuenta con un motor eléctrico AC y tiene como fuente principal de energía baterías de litio.

Hoy en día los vehículos eléctricos son una gran alternativa frente a los vehículos de combustión, gracias a los grandes avances en baterías que se han logrado en las últimas décadas, porque por primera vez se dan todas las condiciones que lo hacen posible. En primer lugar, el desarrollo de baterías de ion litio y otros materiales, que permiten la autonomía

necesaria (de 60 a 400 km, según los modelos existentes). En segundo lugar, el desarrollo de las energías renovables, especialmente la eólica en el presente y la solar termoeléctrica en el futuro, que pueden suministrar la electricidad necesaria, sin emisiones de CO₂, y a un coste razonable e inferior al de la gasolina, el gasóleo y los biocombustibles, además un motor eléctrico puede llegar a ser 4 veces más eficiente que el motor de combustión interna. La tecnología existe, y la única cuestión que queda por mejorar son baterías que proporcionen una autonomía adecuada entre recargas a un coste razonable (Santamarta, 2009, p.27).

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Vehículo eléctrico

Se entiende por un vehículo eléctrico aquel que utiliza uno o varios motores eléctricos para su tracción a partir de la energía eléctrica almacenada en baterías o acumuladores que se recargan desde la red eléctrica, en las baterías se almacena la energía de forma química que se transforma en energía eléctrica y posteriormente, a través del motor eléctrico, se convierte en energía mecánica (Blas & Quintana, 2014).

En los años de 1890, el medio de transporte era el vehículo eléctrico ya que la proporción era de 10:1 respecto de los vehículos a combustión. Los vehículos eléctricos prevalecieron por mucho tiempo los caminos y el mercado de esa época. Esto indica que en esos tiempos los vehículos eléctricos se estaban desarrollando como una de las tecnologías más novedosas y populares de la época. A partir de 1910, los vehículos a combustión ingresaron paulatinamente al mercado con mayor fuerza, puesto que, en su mayoría, eran fabricados al desarrollar el uso de líneas de ensamblaje. Este nuevo sistema de producción prácticamente eliminó del mercado a todos los otros antiguos constructores de vehículos, tanto eléctricos como a combustión, debido a una disminución sustancial de los costos de producción, lo que provocó que las compañías independientes que no tenían acceso a esta nueva tecnología desaparecieran. Después los vehículos a combustión comenzaron a dominar el mercado por sus bajos precios, empezaron a surgir una mayor cantidad de factores que eliminaron casi totalmente el desarrollo de los vehículos eléctricos. Algunos de estos factores fueron que la infraestructura eléctrica en esa época era casi inexistente en las afueras de las ciudades, por lo que los vehículos eléctricos, debido a las dificultades del almacenamiento en bancos de baterías, estaban limitados a transitar dentro de las ciudades. Otro factor importante de la disminución del uso de vehículos eléctricos, fue que en esos tiempos la energía eléctrica era más cara que el combustible, además de que era complicado encontrar un lugar para recargar el sistema de almacenamiento de energía eléctrica (Mar, Javier, & González, 2013, p.21).

1.1.2. Evolución de los vehículos eléctricos.

1834	Thomas Davenport inventa la batería para un vehículo eléctrico, las cuales no son recargables.
1859	Gaston Plante inventó las baterías de Plomo-Ácido recargables.
1889	Thomas Edison construye un vehículo eléctrico usando baterías Níquel- Alcalina.
1895	Primera carrera de vehículos en Norte-América, fue ganada por un vehículo eléctrico.
1896	Primera vendedora de Automóviles en Estados Unidos, la cual vendía vehículos eléctricos.
1897	Primer vehículo eléctrico con dirección servo-asistida, éste tenía un sistema auto-encendido eléctrico, el cual veinte años después se usaron en los vehículos a gasolina.
1898	En la ciudad de Nueva York, los vehículos eléctricos son los únicos capaces de movilizarse en los caminos dentro de una Tormenta de Nieve.
1900	Gran Problema de contaminación en la Ciudad de Nueva York. Ésta es producida por los caballos, dejando 1.1 toneladas de excremento, 230.000 litros de orina diariamente en las calles, 15.000 caballos muertos son retirados de las calles cada año.
1900	Los vehículos producidos fueron: 33% Vehículos a vapor, 33% Vehículos Eléctricos y 33% Vehículos a Gasolina.
1903	Primera multa de exceso de velocidad, ésta fue cursada a un Vehículo eléctrico.
1908	Henry Ford le compra a su esposa un Vehículo Eléctrico. La Alta Sociedad de ese tiempo entregó un elogiador apoyo a los Vehículos Eléctricos: “Este vehículo nunca me falla”
1910	Fábrica de vehículos produce vehículos de combustión interna en volumen, reduciendo el costo por vehículo.
1912	Hay 38.842 Vehículos Eléctricos en las calles. Los camiones cisternas entregan gasolina a las estaciones.
1913	Auto-encendido para vehículos de gasolina. (10 años después que el Modelo T)
1956	Sistema Nacional de Autopistas Interestatales. Consolidado el 90% en los estados y 90% en el Gobierno Federal.
1957	Sputnik (Satélite Soviético) es lanzado. El programa de espacio estadounidense inicia la investigación y desarrollo de una avanzada batería.
1966	Gran Expectación porque 36 millones de personas están realmente interesadas en Vehículos Eléctricos. Hasta esa fecha los vehículos eléctricos tienen una velocidad máxima de 60 Km/h, y una autonomía de 80 Km.
1967	Walter Laski funda la Asociación de Vehículos Eléctricos.

1968-1978	Congreso aprueba estatutos regulatorios más exigentes enfocados a disminuir los riesgos de salud a los usuarios de los vehículos: colisiones, aire contaminado.
1972	Primer Rally Anual de Vehículos Eléctricos de la EAA1974 Debuta CityCar en el Simposio de Vehículos Eléctricos en Washington DC. En 1975, la marca de CityCar es vanguardista, siendo la sexta marca de vehículos de los Estados Unidos.
1990	California establece el Mandato del Vehículo de Emisión Cero, siendo el 2% de los vehículos en 1998 y el 10% para el 2003.
1990	General Motors muestra su inicio en la producción de Vehículos Eléctricos, con el modelo Impact. Después este es renombrado como EV-1
1990	El Gobierno de Estados Unidos gastó \$194 Millones de Dólares en investigación de sistemas de energía eficiente. Esta inversión fue mucho menos que un billón de Dólares que cuesta un simple día en la Tormenta del Desierto, o un billón de Dólares que sale por semana en el Conflicto de Irak (2003).
1993	General Motors estimó que tomaría 3 meses especificar los nombres de las 5000 personas interesadas en el modelo EV-1. Esto sólo tomó una semana.
1995	Renaissance Cars, Inc comienza la producción del modelo Tropica.
1996	EAA ayuda en la investigación en los Vehículos Eléctricos a la empresa CALSTART en Alameda, California.
1996	General Motors comienza la producción del EV-1.
1997	Toyota Prius, vehículo híbrido (gasolina-eléctrico) mostrado en el evento "Tokio Auto Show".
2002	Toyota RAV4-EV venta por pedido. Se estimó que se agotaría en 2 años, pero se agotó en 8 meses.
2003	El Mandato de ZEV (Vehículo de Emisión Cero) debilitó la entrega de créditos para la construcción de ZEV. Toyota detuvo la producción del RAV4-EV, Honda detuvo su nuevo modelo EV-Plus y GM hace el mismo EV-1.
2003	31° Rally EAA EV Anual en Palo Alto, California. Compitieron sobre 30 vehículos: Vehículos Eléctricos Convertidos, de Producción, híbridos y vehículos personales.
2003	El vehículo tZero de AC Propulsión ganó el Challenge Michelin Bibendum de alto grado, y; tZero tiene las siguiente especificaciones: 480Km por carga, 0-96Km/h en 3.6 segundos, 160 Km/h como velocidad máxima.
2003	Renault comercializa la Renault Kangoo Elec'Road, una versión híbrida de su furgoneta equipada con baterías recargables y con una autonomía de 140 km en modo exclusivamente eléctrico.
2005	Tesla Motors lanza al mercado el Tesla Roadster, el primer deportivo eléctrico y equipado con baterías de ión-litio.
2006	Bolloré desarrolla la primera generación del BlueCar, un pequeño utilitario eléctrico equipado con baterías de ión-litio polímero.

2009	En el Frankfurt Motor Show Renault presenta su programa de vehículos eléctricos, compuesto por el Renault Fluenze Z.E., el Renault Kangoo Z.E., el Renault ZOE y el Renault Twizy.
2010	El grupo PSA lanza al mercado sus dos modelos eléctricos, el Citroën CZero y el Peugeot iOn. Por otra parte, BMW electrifica al MINI con un motor eléctrico de 204 CV y una autonomía de 200 km, mientras que Nissan presenta el Nissan Leaf, votado Coche del Año en Europa en 2011.

Tabla 1 Línea de tiempo del vehículo eléctrico (Mar et al., 2013,p22-24)

El vehículo eléctrico ha ido evolucionando cada vez más rápido con el pasar de los años y son un mercado creciente para los compradores que deseen adquirir automóviles nuevos. A finales del 2016, se registraron 561,022 vehículos eléctricos Plug-In en los Estados Unidos. Los propietarios han hecho el cambio de estación de gasolina a una estación eléctrica para alimentar sus autos. Se espera que la tendencia hacia los vehículos eléctricos va a continuar, especialmente por los miles de millones de dólares que los fabricantes de automóviles están invirtiendo en estos nuevos vehículos. Ford ha declarado que va a agregar 13 coches eléctricos en 2020, Honda cree que dos tercios de su producción serán eléctricos en 2030, BMW tiene la intención de fabricar vehículos eléctricos Plug-In en la totalidad de su producción, Volkswagen predice que va a vender entre dos y tres millones de vehículos eléctricos en 2025 lo que nos muestra una tendencia de las grandes comercializadoras de autos a los vehículos eléctricos que poco a poco irán sustituyendo el vehículo de combustión interna en una transición apacible (EBAEZA, 2017)

1.2. Baterías

Las baterías se pueden clasificar en 2 tipos primarias que son cuando su carga no puede renovarse cuando se acaba a menos que se cambie la sustancia química de la cual está compuesta y secundarias que pueden recargarse a través de una señal eléctrica inversa al flujo de la corriente eléctrica, en el sentido contrario a aquel en que la corriente de la batería fluye normalmente

1.2.1. Algunos Parámetros de las baterías.

1.2.1.1. Capacidad de Carga C.

Corresponde a la cantidad de energía eléctrica que la batería es capaz de entregar. Se usa como unidad de medida el Ampere/Hora (Ah). Si una batería tiene una capacidad de 10 Ah, significa que puede entregar 1 Ampere por 10 horas (medida nominal), 2 Amperes por 5 horas, o en teoría 10 Amperes en 1 hora. No obstante, esto no siempre se cumple en la práctica. La capacidad de carga es afectada por la velocidad en que es removida la carga. En la figura 1 se muestra la capacidad de carga para una batería de 42 Ah. En el gráfico se observa como si la carga es removida en una hora se entregan solo 34 Ah, por el otro lado si se descarga lentamente, como, por ejemplo, en 20 horas, la capacidad aumenta a cerca de 46 Ah (Vargas Fabre, 2012, p.8).

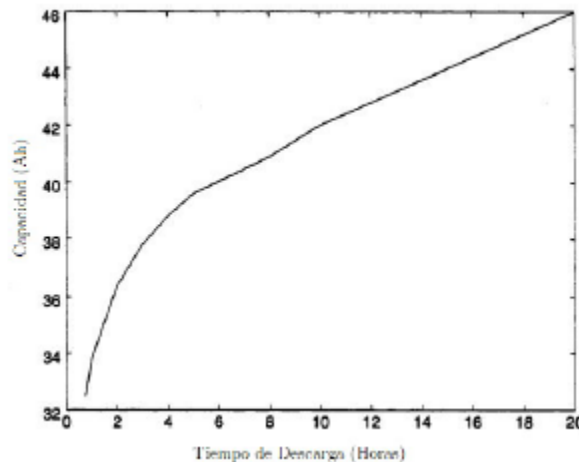


Figura 1 Capacidad de Carga Batería de 42 Ah (Vargas Fabre,2012)

El vehículo eléctrico de estudio cuenta con una capacidad nominal de carga de 150 Ah.

1.2.1.2. Energía almacenada.

Corresponde a la energía almacenada en la batería y depende de la capacidad de carga y de la tensión nominal, para el caso del vehículo es 72V con una capacidad de 150Ah. Se obtiene mediante el producto de la capacidad de carga por la tensión nominal

Energía [W/h]= Voltaje nominal [V] X Capacidad de Carga [Ah] = 150Ah*72V= 10800 Wh

1.2.1.3. Energía Específica.

Hace referencia la cantidad de energía eléctrica almacenada por cada kilogramo de batería. Se obtiene mediante la relación de la energía almacenada (10800 Wh) y la masa de las baterías aproximadamente 90 Kg

$$\text{Energía específica} = \frac{\text{Energía almacenada}}{\text{masa de la batería}} = \frac{10800 \text{ Wh}}{90 \text{ Kg}} = 120 \text{ Wh/Kg}$$

1.2.1.4. Profundidad de descarga.

Relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma. DOD (*Depth Of Discharge*) (Peña Ordóñez Carlos, 2011).

1.2.1.5. Vida útil.

En el tiempo en que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces o de ciclos que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso para el caso del vehículo eléctrico es de 3600 (80% DOD) esto quiere decir que las baterías pueden ser cargadas sin perder su confiabilidad alrededor de 3600 si se descarga hasta un 80% de su energía almacenada (Peña Ordóñez Carlos, 2011).

1.2.2. Baterías de litio

El Litio al ser el metal más liviano, con un potencial estándar de reducción de -3.040V; tiene el mayor potencial electroquímico produciendo una capacidad energética teórica de 3860 Ah/Kg. (Jaime, Fonseca, & Universidad, 2011)

Durante muchos años la batería de níquel-cadmio fue la única opción para aplicaciones portátiles como teléfonos móviles, ordenadores, aeromodelos, etc. En 1990 aparecieron las baterías de níquel-metal-hidruro e ion-litio, ofreciendo mayores capacidades y menores pesos. Ambas tecnologías reclaman su superioridad sobre la otra, pero últimamente se ha hecho patente que las baterías de Ion-Litio han ganado la carrera. Los primeros trabajos para crear una batería de litio se desarrollaron en el año 1912 por G.N. Lewis, pero no fue hasta

los años 70 que apareció de una manera más contundente en el mercado (Peña Ordóñez Carlos, 2011).

1.2.2.1. Características generales de las baterías de litio.

La densidad de energía de una batería de la familia del litio es aproximadamente más del doble que en una batería de níquel-Cadmio. Los investigadores aseguran que la batería de litio puede alcanzar un potencial muy superior al actual, lo que aumenta las posibilidades de que este tipo de baterías puedan dominar el futuro de los vehículos eléctricos y asentar nuevas bases para la matriz energética que continúa evolucionando. Recordemos que para alcanzar un voltaje similar con una batería de níquel-Cadmio sería necesario utilizar tres células conectadas en serie. Las baterías de la familia del litio no requieren mantenimiento, cosa que no puede decirse de otras baterías. No tienen efecto memoria y no es necesario realizar un reciclado cada cierto número de cargas (Peña Ordóñez Carlos, 2011).

Ventajas:

- Alta densidad de energía.
- Alta energía específica.
- Alta capacidad de descarga en algunos tipos de baterías de litio.
- No necesitan de mantenimiento.
- Sin efecto memoria.
- Bajo efecto de auto descarga.

Desventajas:

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje máximo y mínimo por celda.
- Almacenar en lugar frío al 40% de su carga.
- Baja capacidad de descarga en las baterías de iones de litio.
- Limitaciones en su transporte aéreo.
- Precio superior a otras baterías. (Peña Ordóñez Carlos, 2011)

1.2.3. Comparación de diferentes tipos de baterías.

Tecnología	Pb-ácido	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ión [LiCoO ₂]	LiFe	Li-PO
Parámetros						
Voltaje (V/celda)	2v	1.2v	1.2v	3.6/3.7v	3.3v	3.7v
Autodescarga (%/mes)	3%-20%	10%	30%	8%	-	5%
Descarga en continua		10c	8c	1c	26c	20-45c
Descarga por picos	-	-	-	-	52c	30-90c
Mantenimiento	Bueno	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000
Densidad energética [wh/l]	60-75	50-150	140-300	250-360	220	300
Energía específica [Wh/kg]	30-40	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200
Potencia específica [W/Kg]	180	150	250-1000	250-340	3000	7100
Corriente carga rápida [C]	0.4	1- 2	1-2	1	4	1-2
Eficiencia. Carg/Desca	50%-92	70%-90%	66%	80%-90%	-	99.8%
Tolerancia a sobrecargas	-	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. mala
Robustez a impactos	Buena	M. buena	Buena	M. mala	Media	M. mala
Altas temperaturas	Media	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. Mala
Problemas de ecualización	No	No	No	Si	Si	Si
Seguridad	M. buena	M. buena	M. buena	M. buena	M.buena	Buena
Formato	-	Cilíndrico	Cilíndrico	Prisma	Pris/Cilín	Prisma

Tabla 2 Cuadro comparativo para diferentes tipos de baterías. (Peña Ordóñez Carlos, 2011)

Como se puede apreciar en la figura 2 algunas características y aspectos importantes a tener en cuenta de las baterías de ion de litio que posee el vehículo eléctrico y que están dentro de los rangos de la tabla, su energía específica [120 Wh/Kg].

1.3. Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Al igual que las baterías, el motor eléctrico desarrolla un rol fundamental en el desempeño del sistema tracción de los vehículos eléctricos debido a que este proporciona la potencia, velocidad y par. El motor del vehículo eléctrico es un motor AC 10 Hp [7,5 kW].

Par motor: Es la fuerza con la que gira el eje del motor. Se mide en Newton por metro [Nm].

Régimen de giro: Es el número de vueltas que da el eje motor por unidad de tiempo. Se mide en revoluciones por minuto [rpm].

Potencia motora: Es la cantidad de trabajo realizada por unidad de tiempo y se obtiene de multiplicar el **par por las revoluciones**. Se mide en caballos de vapor [CV], Caballos de poder [HP] o en kilo watt [kW]

1.3.1. Comparación de un motor eléctrico Vs un motor de combustión interna.

Hay grandes diferencias entre los motores de combustión interna con los motores eléctricos, desde la eficiencia, masa. Los gráficos de potencia, par y definen las relaciones entre estos parámetros para cada motor.

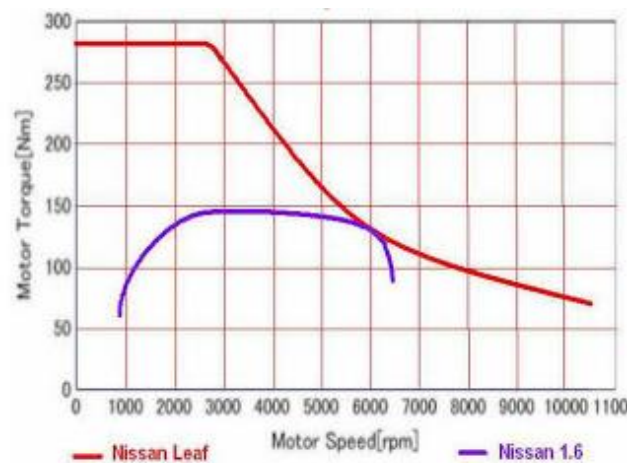


Figura 2 Par motor: Nissan Leaf Vs Nissan 1,6 (Rodriguez Brais, 2011)

Como se puede ver en la figura 2 se compara un mismo vehículo (Nissan) con diferentes tipos de motores, por su parte el Nissan Leaf cuenta con un motor eléctrico de 80 Kw y el Nissan 1,6 cuenta con un motor de 1600 cm³ [80,9 Kw]. Se puede observar que a diferencia del motor de combustión interna el motor eléctrico tiene una tendencia en el comportamiento

del par a ser constante [275 Nm] hasta cierto número de revoluciones del motor [2850 Nm]. Por otro lado, el motor de combustión interna tiene un comportamiento en el par menor a revoluciones más bajas y su rango en velocidades es mucho menor.

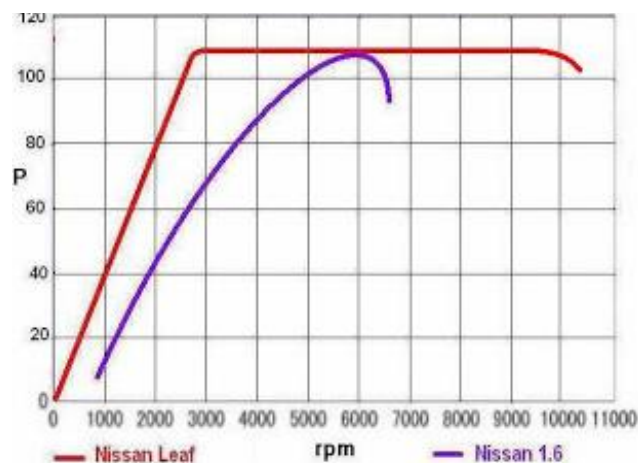


Figura 3 Potencia mecánica: Nissan Leaf Vs Nisan 1,6 (Rodriguez Brais, 2011)

En esta figura 3 se puede observar que el motor eléctrico tiene una mayor potencia [cv] que el motor combustión interna hasta 1000 rpm ofrece más del triple de potencia, hasta 2000 rpm más del doble y aunque las curvas se van acercando hacia las 6.000 rpm, el motor de gasolina de 1,6 corta a 6.500 rpm y el del Leaf aún ofrece su potencia máxima hasta 9800 rpm y gira hasta las 10.400 rpm. Por eso cuando la gente prueba un coche eléctrico por primera vez, se sorprende por la sensación de potencia a velocidades bajas o medias. No es una sensación, es real. Son mucho más potentes que un vehículo térmico equivalente en esas condiciones. (Rodríguez Biras, 2011).

1.3.2. Características del motor eléctrico del vehículo en estudio

El motor eléctrico con el que cuenta el vehículo es un motor Ac de 10 Hp [7,5 kW], a continuación, se presenta una gráfica brindada por el fabricante del motor donde se puede observar algunas características mencionadas anteriormente

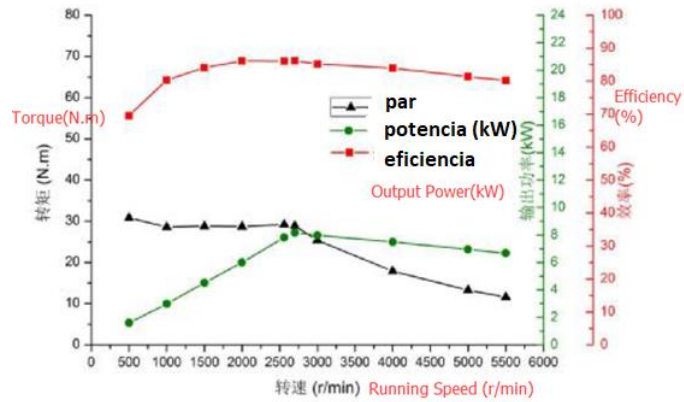


图1 额定特性曲线 Rated Characteristic Curve

Figura 4 Características motor eléctrico Ac 7,5 kW (Fabricante)

La figura 4 registra par, potencia y eficiencia del motor frente a velocidad de giro; obteniendo valores máximos en el par de aproximadamente 68 Nm a 2000 rpm, en la potencia de 7,5 kW a 2500 rpm y una máxima eficiencia de 85% a 2500 rpm aproximadamente.

2. METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS

Se llevó el automóvil al laboratorio de pruebas dinámicas E20 ubicado en la Universidad Tecnológica de Pereira en el cual se realizaron pruebas en dinamómetro para cada una de las marchas del vehículo y otras pruebas en rodillos para determinar el consumo eléctrico. Posteriormente se obtuvieron los datos de potencia, par de torsión y consumo eléctrico proporcionados por los equipos del laboratorio para su respectivo análisis. Se procesaron los datos de cada una de las pruebas en cada una de las marchas del automóvil con las cuales determinarán las curvas con los datos promedio de cada una de las experiencias, y seguidamente se presentan pruebas de conducción del vehículo en carretera para medir el rendimiento del vehículo en diferentes condiciones de terrenos con el fin de registrar los datos de consumo eléctrico y posteriormente estimar la autonomía del vehículo en diferentes condiciones de terreno.

2.1. Pruebas en Laboratorio

2.1.1. Pruebas en dinamómetro.

Se realizaron pruebas de desempeño en el laboratorio de pruebas dinámicas de la Universidad Tecnológica de Pereira. El equipo utilizado es un dinamómetro que es de modelo Dynapack para la construcción de curvas de desempeño Potencia mecánica, par de torsión vs RPM.



Figura 5 Montaje de ejes de salida a dinamómetro. (Salazar Edgar (018).

Se realizaron pruebas de (potencia mecánica, par) vs RPM, promediando valores y así obtener valores estimados de los 3 primeros cambios del vehículo

2.1.2. Pruebas en Rodillos

Se realizaron también pruebas en rodillos para simular un recorrido plano siguiendo perfiles estándar de conducción de NEDC (New European Driving cycle) con el fin de tener un estimado de la autonomía del vehículo en terreno plano y conocer la demanda energética del motor. En esta prueba se registraron datos de Velocidad Vs Tiempo en paralelo con la potencia eléctrica del motor vs Tiempo y valores de autonomía estimada llevando el vehículo a descargas totales de batería y forzándolo a alcanzar el límite de su velocidad. A pesar que este tipo de conducción es comúnmente usado para vehículos híbridos, se hace este ciclo como referencia y punto de partido para las pruebas de vehículo.



Figura 6 Pruebas en rodillo (Salazar Edgar, 2018)

2.2. Pruebas en carretera

Se realizaron pruebas en carretera con el fin de conocer el comportamiento del vehículo en diferentes condiciones de terreno, en estas pruebas se obtuvieron datos para estimar del consumo energético durante el recorrido, distancia recorrida, velocidad y nivel promedio de inclinación. El equipo para medir el consumo energético es un analizador de redes Fluke 1736 que fue facilitado por la Universidad Tecnológica de Pereira.

2.2.1. Recorrido UTP-CONDINA.

Se hace recorrido desde la universidad tecnológica de Pereira hasta la glorieta de Condina ubicada en la vía Pereira-Armenia. El recorrido tuvo un tiempo aproximado de 21 minutos la ida y 17 minutos la vuelta. Se registran datos de del consumo energético durante el recorrido, distancia recorrida, velocidad y nivel promedio de inclinación.

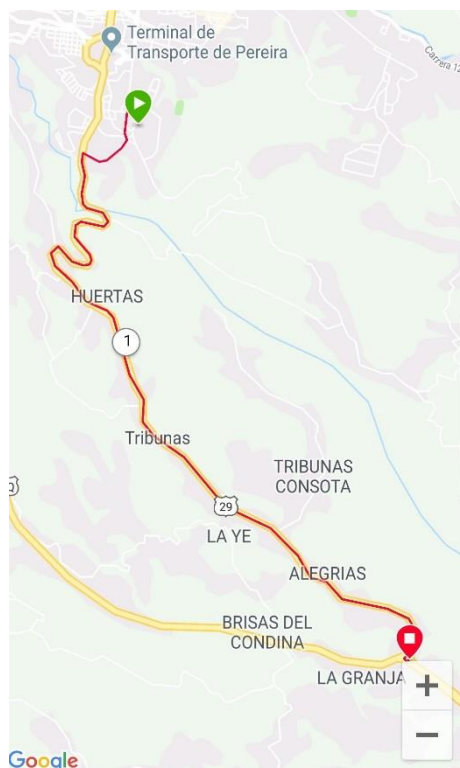


Figura 7 Trayecto UTP <> Condina

2.2.2. Recorrido UTP- La Virginia.

Se hace recorrido desde la universidad tecnológica de Pereira hasta la Virginia el recorrido tuvo un tiempo aproximado de 53 minutos la ida y 60 minutos la vuelta. Se registran datos de del consumo energético durante el recorrido, distancia recorrida, velocidad y nivel promedio de inclinación.



Figura 8 Trayecto UTP- La Virginia

2.2.3. Recorrido UTP-Santa Rosa.

Se hace recorrido desde la universidad tecnológica de Pereira hasta la entrada de Santa Rosa de cabal el recorrido tuvo un tiempo aproximado de 53 minutos la ida y 32 minutos la vuelta. Se registran datos de del consumo energético durante el recorrido, distancia recorrida, velocidad y nivel promedio de inclinación.

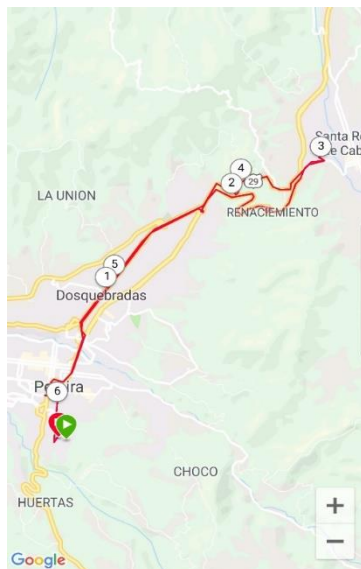


Figura 9 Trayecto UTP- Santa Rosa

2.2.4. Recorrido UTP-La Paila.

Se hace recorrido desde la universidad tecnológica de Pereira hasta la entra de Santa Rosa de cabal el recorrido tuvo un tiempo aproximado de 1 hora 45 minutos la ida y 2 horas 5 minutos la vuelta. Se registran datos de del consumo energético durante el recorrido, distancia recorrida, velocidad y nivel promedio de inclinación.



Figura 10 Trayecto UTP- La paila

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Resultados Obtenidos

A continuación, se presentan los resultados para cada una de las pruebas que se realizaron en las diferentes marchas del vehículo, es importante tener en cuenta que estos resultados se ven afectados por la relación de transmisión que existe entre el motor y la caja de cambios es decir los valores obtenidos son los valores directos por el dinamómetros que son la potencia mecánica y par de tracción en la salida del eje de las ruedas, para obtener resultados acerca del funcionamiento del motor serán mediante expresiones indirectas que serán el resultado de dividir los datos obtenidos por la relación de transmisión y factor multiplicador del eje de salida.

Marcha	Relación de transmisión
1	3,41
2	1,89
3	1,28
4	0,91
5	0,75
reversa	2,91
Eje de salida	4,38

Tabla 3 Relaciones de transmisión según marcha del vehículo.

3.1.1. Resultados de pruebas en dinamómetro.

Los resultados de las pruebas en dinamómetro pueden simplificarse en las siguientes figuras:

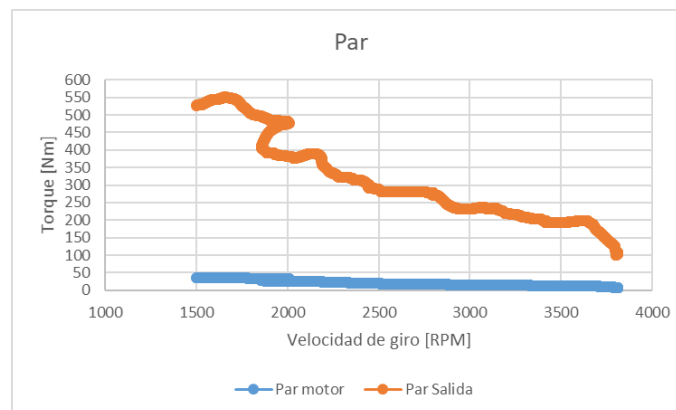


Figura 11 Comportamiento del par primera marcha

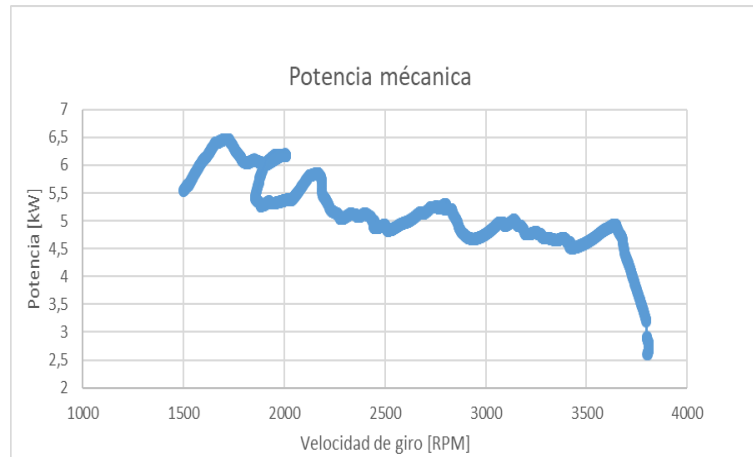


Figura 12 Comportamiento de la potencia mecánica primera marcha

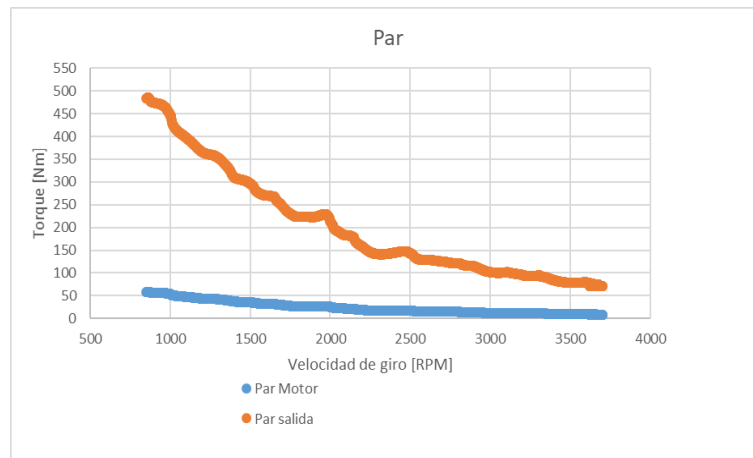


Figura 13 Comportamiento del par segunda marcha

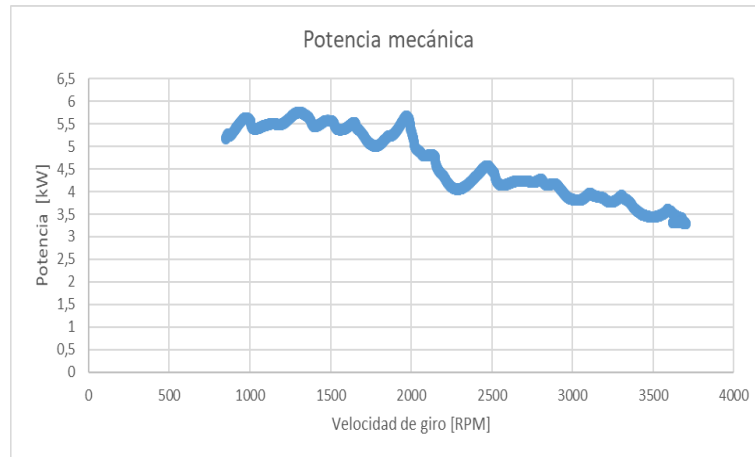


Figura 14 Comportamiento de la potencia mecánica segunda marcha

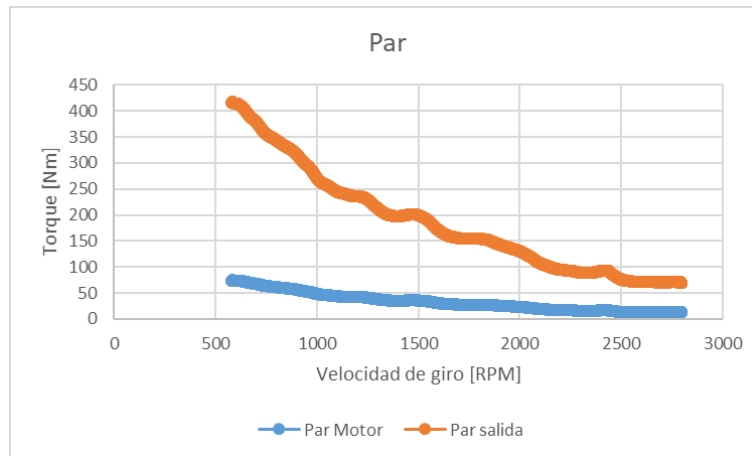


Figura 15 Comportamiento del par tercera marcha

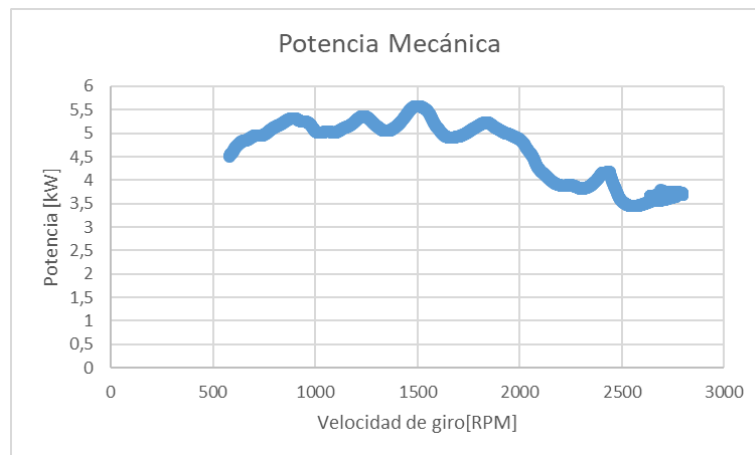


Figura 16 Comportamiento de la potencia mecánica tercera marcha

3.1.2. Resultados pruebas en rodillos.

La siguiente gráfica presenta los resultados obtenidos en los rodillos de laboratorio

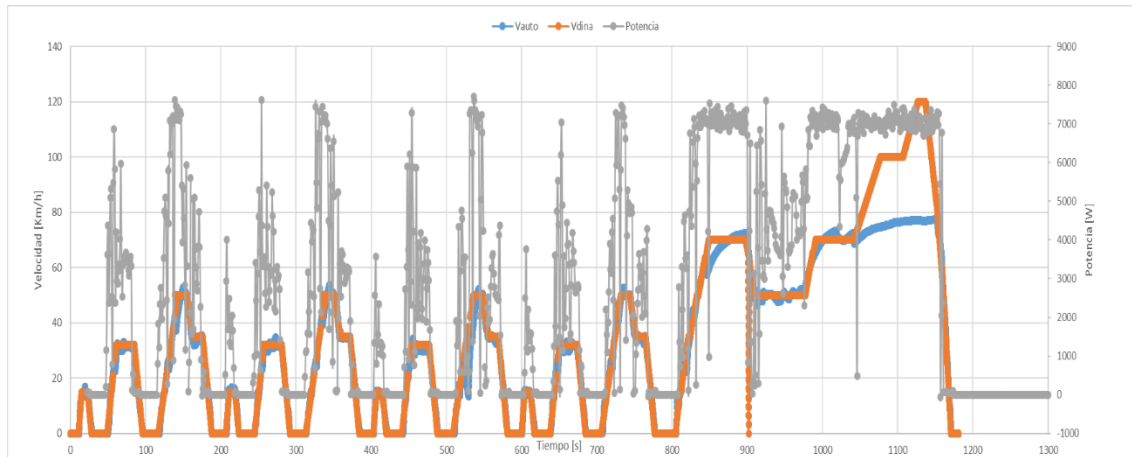


Figura 17 Pruebas en rodillo ciclo de manejo NEDC (New European Driving cycle)

3.1.3. Resultados pruebas en carretera.

3.1.3.1. Resultados UTP-Condina.

A continuación, se presentarán los resultados del recorrido UTP<>Condina

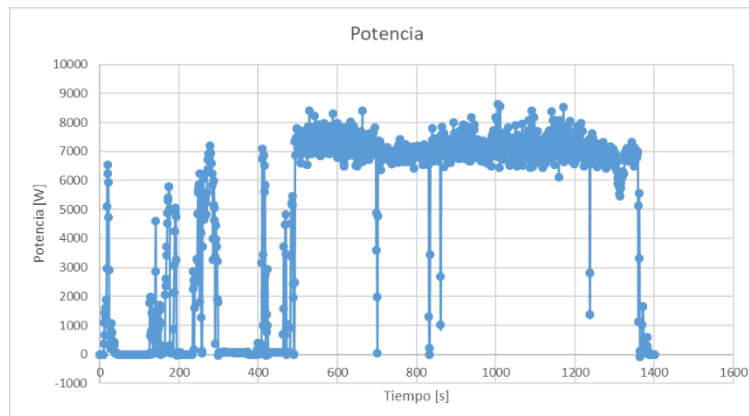


Figura 18 Potencia Vs Tiempo UTP-Condina

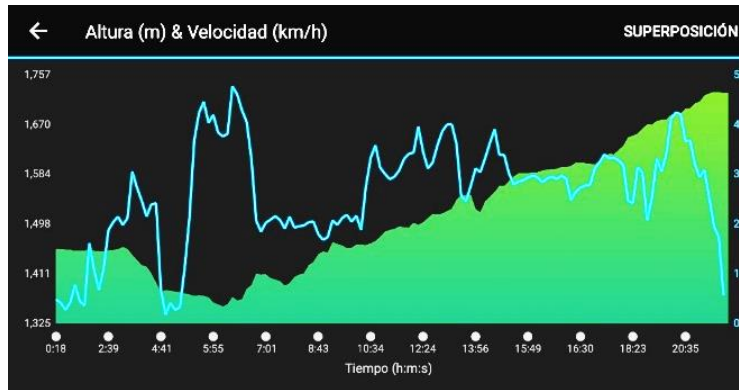


Figura 19 Altura y Velocidad Trayecto UTP -Condina

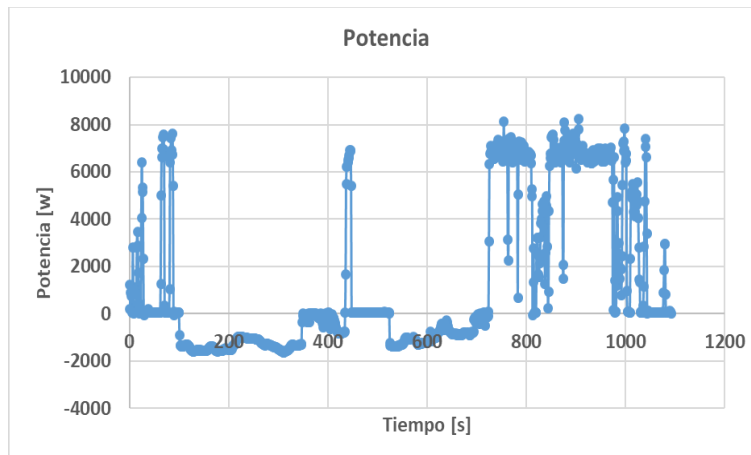


Figura 20 Potencia Vs Tiempo Trayecto Condina-UTP

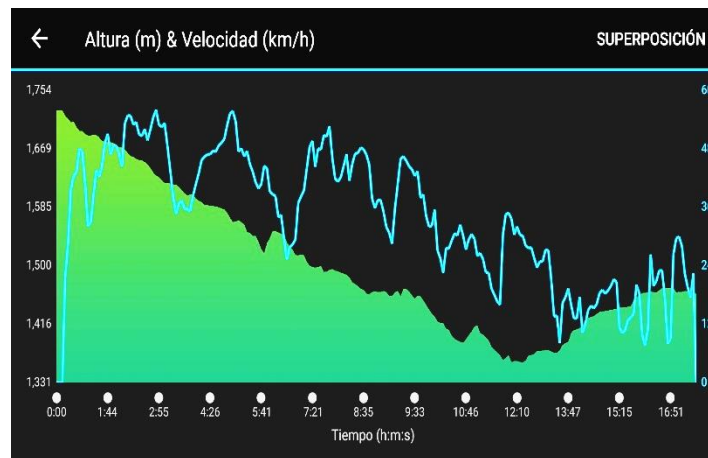


Figura 21 Altura y Velocidad Trayecto Condina-Utp

En la siguiente tabla se presentan los resultados: distancia recorrida en cada uno de los trayectos, pendiente promedio, consumo energético, velocidad promedio, tiempo de la prueba y consumo energético promedio por cada kilómetro recorrido.

Recorrido	Distancia km	Pendiente promedio	Consumo Energía (Wh)	Velocidad Prom (km/h)	Tiempo (min)	Wh/km
UTP -> Condina	9,89	+ 5,12 %	1858,19	27,6	21,3	188
Condina -> UTP	9,81	- 5,12 %	403,3	32,8	17,5	41,11

Tabla 4 Parámetros de Trayecto UTP<> Condina

Resultados UTP-La Virginia

A continuación, se presentarán los resultados del recorrido UTP-<>La Virginia

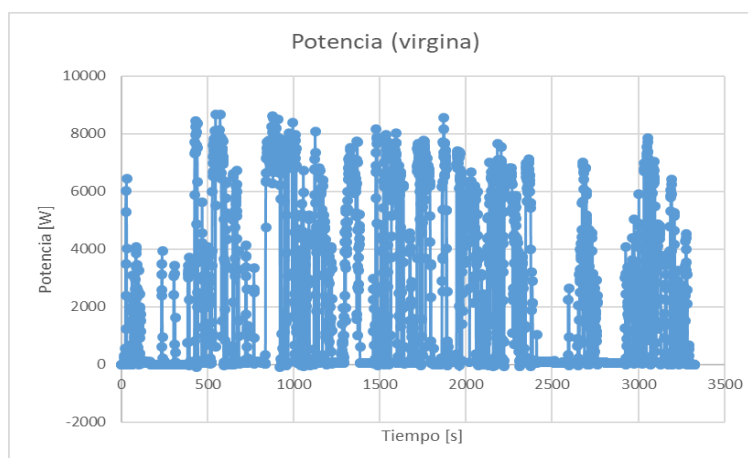


Figura 22 Potencia Vs Tiempo UTP-La Virginia

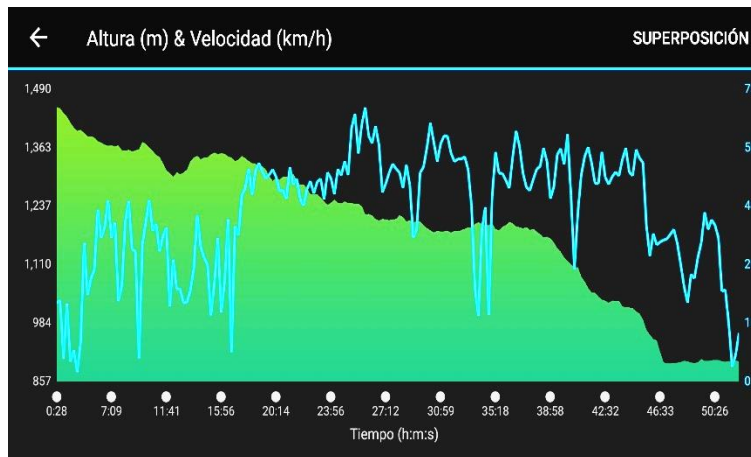


Figura 23 Altura y Velocidad Trayecto La Virginia-UTP

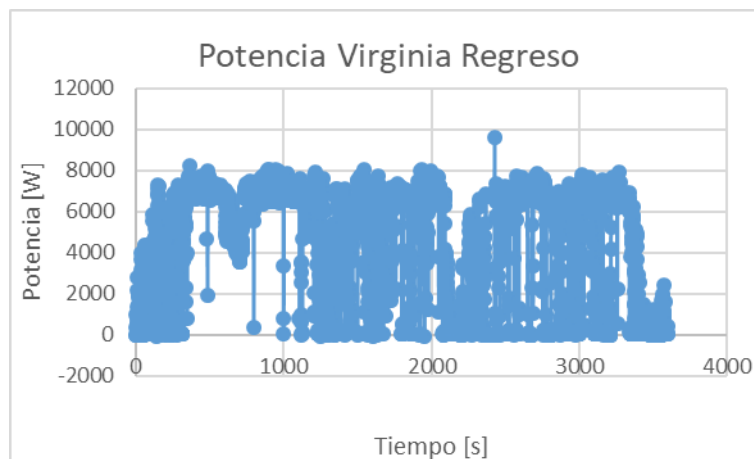


Figura 24 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Virginia-UTP

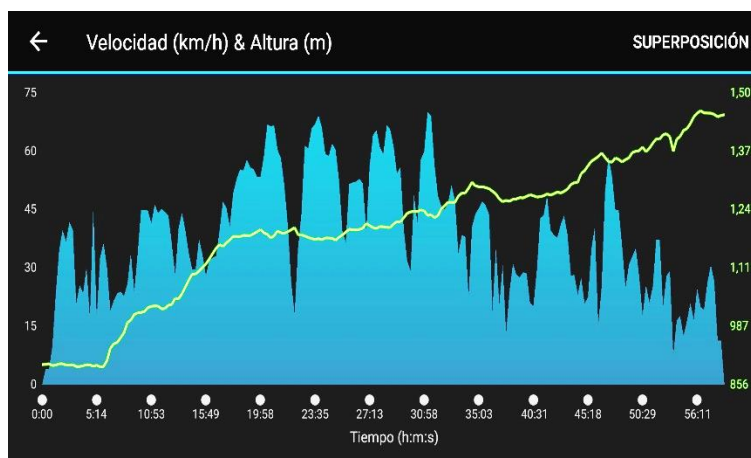


Figura 25 Altura y Velocidad Trayecto La Virginia-UTP

En la siguiente tabla se presentan los resultados de: distancia recorrida, pendiente promedio, consumo energético, velocidad promedio, tiempo de la prueba y consumo energético por unidad de distancia

Recorrido	Distancia km	Pendiente promedio	Consumo Energía (Wh)	Velocidad Prom (km/h)	Tiempo (min)	Wh/km
UTP -> La Virginia	33,49	- 2 %	4085,53	38	50,26	122
La Virginia -> UTP	33,57	2 %	8932,75	33,6	59,57	266

Tabla 5 Resultados de Trayecto UTP- La Virginia

3.1.3.3 Resultados UTP-Santa Rosa.

A continuación, se presentarán los resultados del recorrido UTP-<>Santa Rosa

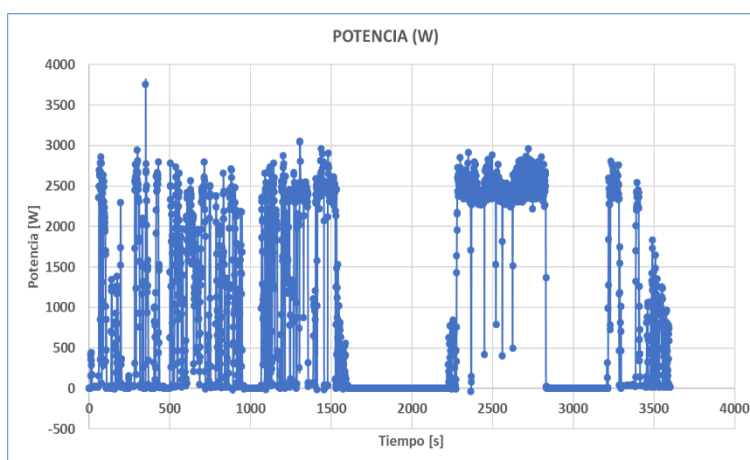


Figura 26 Potencia Vs Tiempo UTP-Santa Rosa

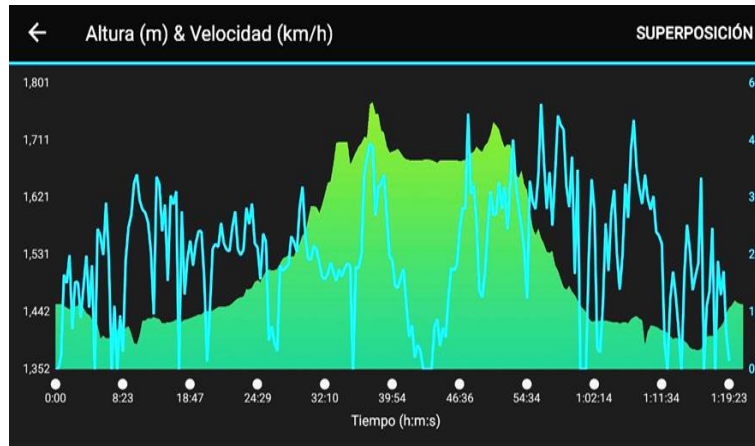


Figura 27 Altura y Velocidad Trayecto La UTP-Santa Rosa

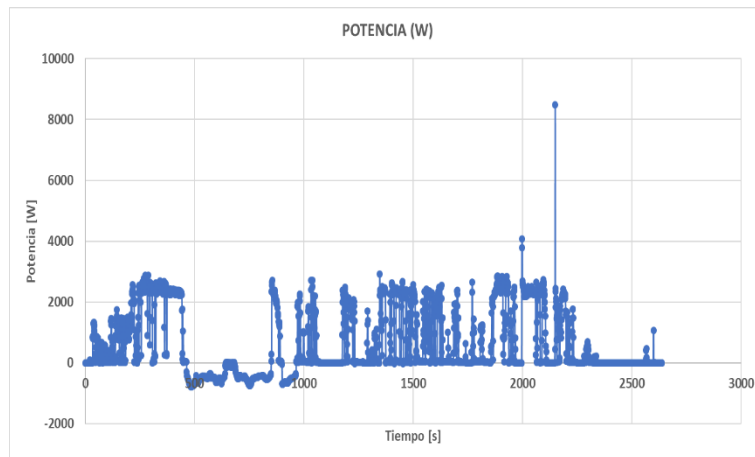


Figura 28 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Virginia-UTP

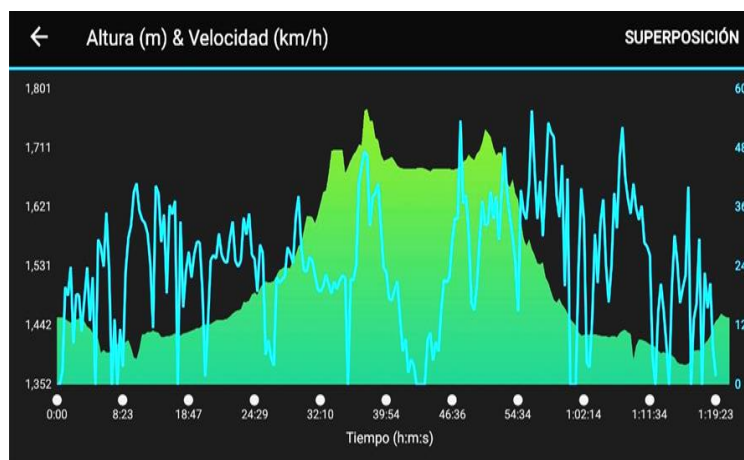


Figura 29 Altura y Velocidad Trayecto Santa Rosa-UTP

En la siguiente tabla se presentan los resultados de: distancia recorrida, pendiente promedio, consumo energético, velocidad promedio, tiempo de la prueba y consumo energético por unidad de distancia

Recorrido	Distancia km	Pendiente promedio	Consumo Energía (Wh)	Velocidad Prom (km/h)	Tiempo (min)	Wh/km
UTP -> Santa Rosa	14,46	10 %	2553,1	18	52,57	176,6
Santa Rosa -> UTP	14,45	-10%	897,16	28	32	62,08

Tabla 6 Resultados de Trayecto UTP-Santa Rosa

3.1.3.4 Resultados UTP-La Paila.

A continuación, se presentarán los resultados del recorrido UTP<> La paila

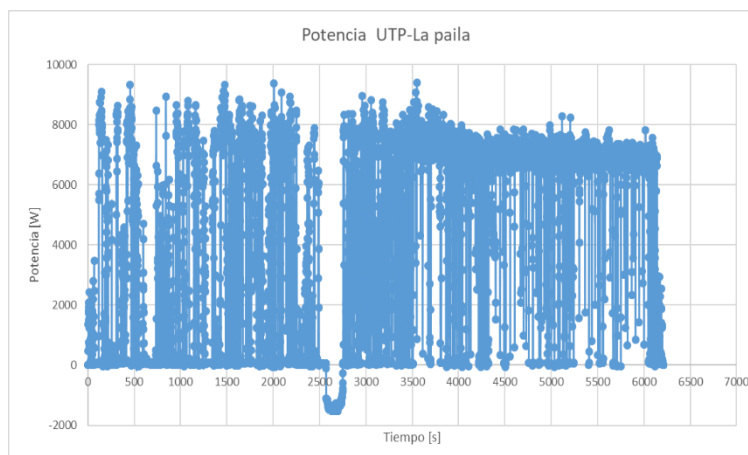


Figura 30 Potencia Vs Tiempo UTP-La Paila

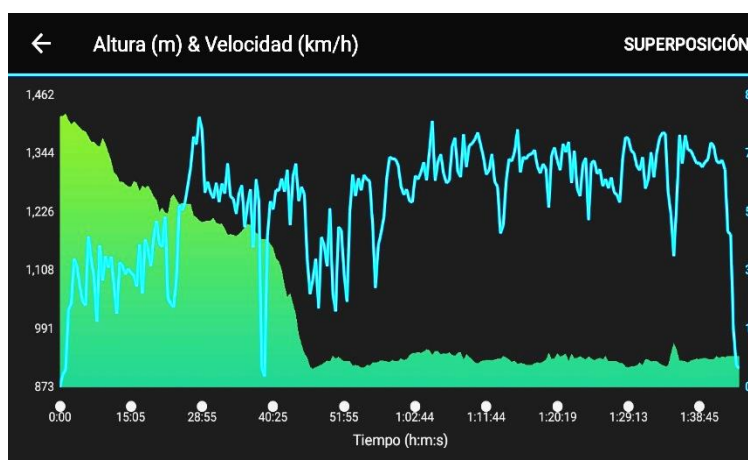


Figura 31 Altura y Velocidad Trayecto La UTP-La paila

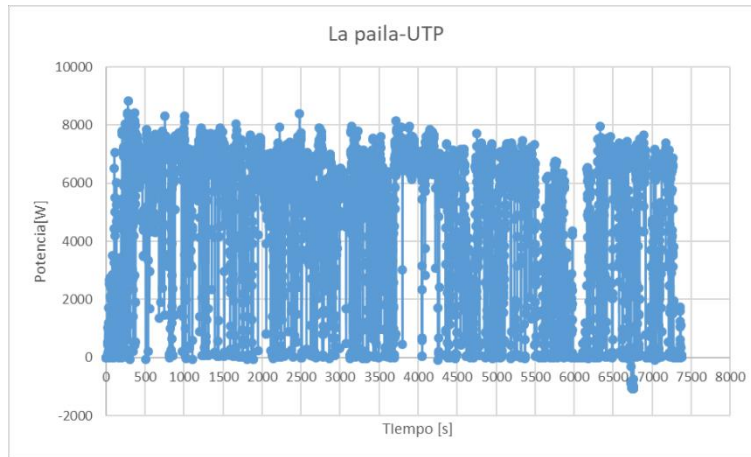


Figura 32 Potencia Vs Tiempo Trayecto La Paila-UTP

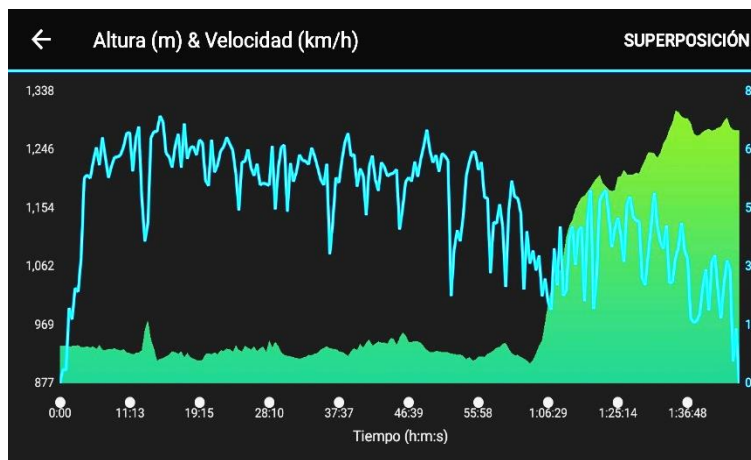


Figura 33 Altura y Velocidad Trayecto La Paila-UTP

En la siguiente tabla se presentan los resultados de: distancia recorrida, pendiente promedio, consumo energético, velocidad promedio, tiempo de la prueba y consumo energético por unidad de distancia

Recorrido	Distancia km	Pendiente promedio	Consumo Energía (Wh)	Velocidad Prom (km/h)	Tiempo (min)	Wh/km
UTP -> La paila	87,37	0	7135,49	50,1	104	81,67
La paila-> UTP	88,06	0%	9192,92	42,7	123	104,39

Tabla 7 7 Resultados de Trayecto UTP<> La Paila

3.2. Análisis de resultados

3.2.1. Análisis de pruebas en dinamómetro.

A continuación, se presenta una gráfica y una tabla para ayudar a una fácil interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas de dinamómetro.

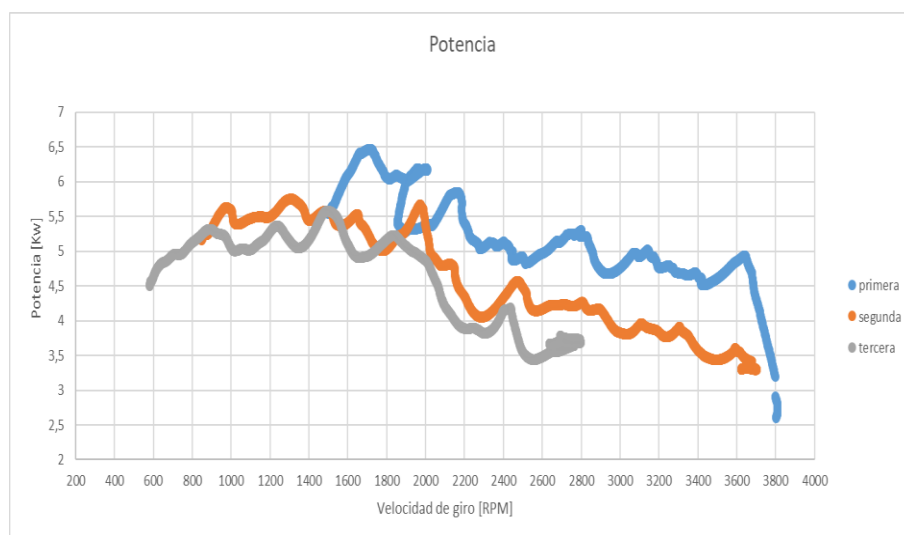


Figura 34 Potencia mecánica para las diferentes marchas

Como se puede observar en la figura 34 la demanda de potencia mecánica es mayor para la primera marcha alcanzando máximos de aproximadamente 6,5 kW a unas 1700 RPM con tendencias a disminuir su potencia cuando aumentan las revoluciones del motor. En la segunda marcha la potencia tiene 3 picos aproximadamente de 5,7 kW desde las 950 RPM hasta las 1925 RPM donde comienza a caer la potencia con el aumento de revoluciones. Para la tercera marcha la potencia máxima demandada es a 1500RPM y es de unos 5,6 kW donde después de esto comienza a caer la potencia hasta llegar a valores de 3,4 kW a unas 2500 RPM.

La siguiente es una gráfica que resume el comportamiento del par que sale en el eje de las ruedas del vehículo.

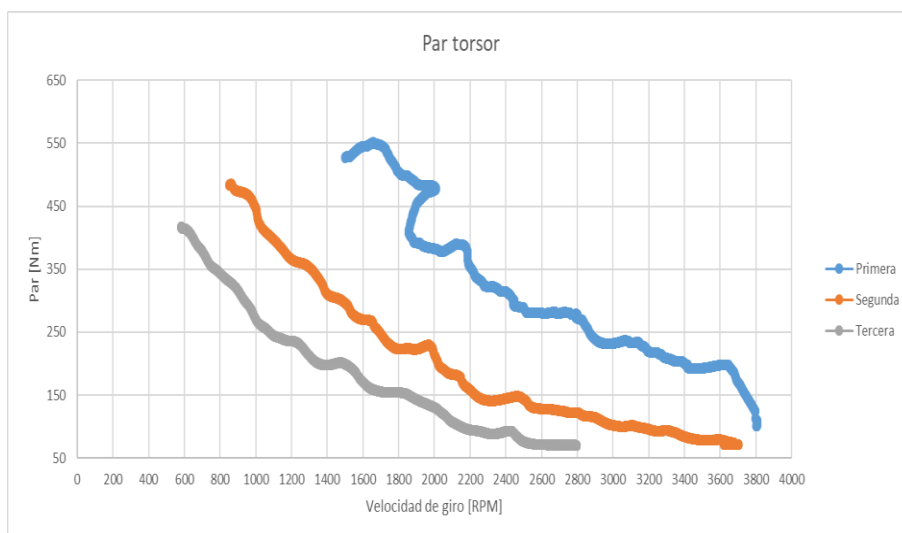


Figura 35 Par para las diferentes marchas

Como se puede apreciar en la figura 35 el comportamiento del par para las diferentes marchas del vehículo es muy similar siendo más alto normalmente en primera aproximadamente de 550 Nm, 490 Nm para segunda y de 380 Nm para tercera cabe recordar que este par se mide a la salida del eje de las ruedas del vehículo lo que hace que el par en el motor se pueda obtener de una manera indirecta dividiendo por el factor multiplicador de la relación de transmisión según la tabla 3 sería de 14,936 para primera, 8,278 para la segunda y de 5,606 para la tercera. El valor del par en el motor en la primera marcha sería de aproximadamente 36,8 Nm, 59,193 Nm para la segunda y de 67,78 Nm para la tercera. Estos datos corroboran la gráfica 3 suministrada por el proveedor donde se registran pares de aproximadamente 70 Nm a unas 2000 RPM.

3.2.2. Análisis de las pruebas en rodillos.

Las pruebas en rodillos fueron exigentes con el fin de probar y llevar el vehículo a fondo para conocer sus límites. Como se puede observar en la gráfica 10 la línea color naranja representa la curva de velocidad que debe tratar de seguir el vehículo representado con líneas de color azul. Se evidencia que el vehículo no puede llegar a velocidades máximas demandadas por este exigente ciclo de conducción de NEDC. El vehículo alcanza a llegar hasta un máximo de velocidad de 80 Km/h muy por debajo de la máxima exigida por el ciclo de 120 km/h. Por otro lado, se puede observar que, para los cambios bruscos de velocidades,

la potencia eléctrica en el motor es alta de aproximadamente 7,8 kW que es la máxima que puede entregar. En cuanto al rendimiento de las baterías es satisfactorio debido a que gracias a estas pruebas se pudo obtener una primera estimación de la autonomía del vehículo 180 km llevando la batería hasta descargas totales. Es importante aclarar que estas pruebas son en condiciones de terreno plano y en el vehículo con un solo pasajero.

3.3.3. Resultados de pruebas en carretera.

A continuación, se presenta análisis individual para cada una de las pruebas y un análisis de las pruebas en conjunto.

3.3.3.1 Análisis trayecto UTP-Condina.

Se realiza una prueba corta de aproximadamente 21 minutos el trayecto de ida y 18 minutos la vuelta, con un nivel de inclinación promedio de 5,12% a una velocidad promedio de 27,6 km/h la ida y 32,8 km/h la vuelta donde la energía consumida fue para el primer recorrido de 1858,19 Wh en 9,89 km y para el recorrido de vuelta fue de 403,3 Wh en 9,81 km. Como era de esperarse el consumo energético varía en función de la inclinación debido a que en el trayecto se contaba con una pendiente positiva el consumo fue mucho mayor 4,6 veces mayor que el de regreso. Es importante también aclarar que el regreso tuvo tramos de regeneración, logrando con esto se recargó 148,79 Wh lo que representó un ahorro energético para el segundo trayecto de aproximadamente 37%.

3.3.3.2 Análisis trayecto UTP-La Virginia.

En esta prueba de duración semi-larga de aproximadamente 51 minutos el trayecto de ida y una hora la vuelta con, un nivel de inclinación promedio de 2 % a una velocidad promedio de 38 km/h la ida y 33,6 km/h la vuelta donde la energía consumida fue para el primer recorrido de 4085,53 Wh en 33,49 km y para el recorrido de vuelta fue de 8932,75 Wh en 33,57 km. Una vez más se puede apreciar que el gasto energético de los dos trayectos es diferente para este caso el regreso tuvo un consumo de 2,2 veces mayor al primero. Al ser la pendiente relativamente baja no fue posible hacer una recuperación de energía (regeneración).

3.3.3.3 Análisis trayecto UTP-Santa Rosa.

Esta fue una prueba corta de duración prolongada de aproximadamente 53 minutos el trayecto de ida y una hora la vuelta, con un nivel de inclinación promedio de 10 % a una velocidad promedio de 18 km/h la ida y 28 km/h la vuelta donde la energía consumida fue para el primer recorrido de 2553,1 Wh en 14,46 km y para el recorrido de vuelta fue de 897,16 Wh en 14,45 km. Una vez más se puede apreciar que el gasto energético de los dos trayectos es diferente para este caso el regreso tuvo un consumo de 2,85 veces menor al de la ida. El regreso tuvo tramos de regeneración, logrando con esto se pudo recargar 49,7 Wh lo que represento un ahorro energético para el segundo trayecto de aproximadamente 5,5%.

3.3.3.4 Análisis trayecto UTP- La Paila.

Esta fue la prueba más larga que se realizó con el vehículo de aproximadamente una hora 45 minutos el trayecto de ida y dos horas y 4 minutos la vuelta, con un nivel de inclinación promedio de 5,83 % a una velocidad promedio de 50,1 km/h la ida y 42,7 km/h la vuelta donde la energía consumida fue para el primer recorrido de 7135,49Wh en 87,37 km y para el recorrido de vuelta fue de 9192,92Wh en 88,06 km. Una vez más se puede apreciar que el gasto energético de los dos trayectos es diferente, pero para este caso a pesar de tener un nivel de inclinación promedio considerable no fue totalmente constante en todo el trayecto. Como se puede ver en la figura 31 solo en los primeros 30 km de Pereira a Cartago, donde ya la pendiente de inclinación no varía tanto a la llegada en la Paila (0%), lo que para efectos de diferencias en el consumo energético no fue tan significativo (1,29). También hubo un pequeño trayecto de regeneración con esto se lograron recargar 67 Wh lo que represento apenas un ahorro energético para el segundo trayecto de aproximadamente 1%.

3.3.3.5 Análisis de pruebas en conjunto.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de las pruebas realizadas en carretera

Recorrido	Distancia km	Pendiente promedio	Consumo Energía (Wh)	Velocidad Prom (km/h)	Tiempo (min)	Wh/km
UTP -> Condina	9,89	+ 5,12 %	1858,19	27,6	21,3	188
Condina -> UTP	9,81	- 5,12 %	403,3	32,8	17,5	41,11
UTP -> La Virginia	33,49	- 2 %	4085,53	38	50,26	122
La Virginia -> UTP	33,57	2 %	8932,75	33,6	59,57	266
UTP -> Santa Rosa	14,46	10 %	2553.1	18	52,57	176,6

Santa Rosa -> UTP	14,45	-10%	897,16	28	32	62,08
UTP -> La paila	87,37	0%	7135,49	50,1	104	81,67
La paila-> UTP	88,06	0%	9192,92	42,7	123	104,39

Tabla 8 Resumen de resultados

Analizando las pruebas de manera global se puede observar que las mayores diferencias energéticas entre un trayecto de ida y vuelta se pueden atribuir al nivel de inclinación con la excepción de la prueba que se realizó a la paila debido la mayor diferencia de inclinación se da en los primeros 30 km del trayecto afectando con esto el promedio de inclinación del recorrido pero al ser mayoría del trayecto sin inclinación el factor de diferencia de consumo energético entre el trayecto de ida y vuelta fue de solo 1,29 .

En un terreno inclinado (10%) como lo fue el trayecto de Santa Rosa el consumo energético del vehículo fue de solo 2553,1 Wh y se recorrieron unos 14,46 km si la capacidad de almacenamiento teórico de las baterías es de 10800 Wh dejando como restante 8246,9 Wh. Teniendo en cuenta que el consumo energético por kilómetro para esa prueba fue de 176,6 Wh/km, se proyecta que el vehículo tenía por avanzar alrededor de 47 km más con las mismas características de terreno. Dejando como esto una autonomía para ese tipo de pendiente de aproximadamente 61 km por otro lado en un terreno con leve inclinación como es el trayecto UTP- la Virginia el recorrido fue de 33,49 km con un gasto energético de 4085,53 Wh dejando como restante en la batería 6714,47 Wh y teniendo en cuenta que la energía por kilómetro demandada fue de 122 Wh/km la autonomía del vehículo para este tipo de terreno puede estar alrededor de los 88 km.

4. CONCLUSIONES

- Se logró encontrar valores de potencia mecánica y par de torsión en el eje de salida de las ruedas del vehículo eléctrico donde los valores máximos de potencia mecánica y de par se obtienen en la primera marcha (6,5 kW, 550 Nm)
- Se obtuvo un límite máximo de velocidad para el vehículo eléctrico en las pruebas de rodillo donde a la mayor velocidad alcanzada fue de aproximadamente 80 km/h en terreno plano
- Según las pruebas de desempeño desarrolladas en carretera se concluye que un factor determinante en la autonomía de un vehículo eléctrico está en función de las características del terreno y dadas las condiciones analizadas anteriormente se puede estimar que la autonomía del vehículo eléctrico puede estar entre los 60 km para terrenos con pendientes entre 5% y 10% y alrededor de 80 km para pendientes menores 5%

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer más pruebas de desempeño en carretera y en una ciudad para fortalecer la parte experimental y tener más seguridad en los resultados de la autonomía.
- Se requieren mayores pruebas en laboratorio (rodillos) para establecer autonomía acorde a ciclo de conducción estandarizados, y pruebas en dinamómetro de cubos para establecer las curvas de desempeño (par de torsión y potencia) con mayor confiabilidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Blas, B. D. C. ", & Quintana, M. (2014). *"Modelo de masificación de vehículos eléctricos*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/77276647.pdf>

Colombia y la transición energética. (2018). 13, 107–125.

[2] EBAEZA. (2017). La evolución de los vehículos eléctricos. Retrieved July 8, 2019, from <https://www.eoi.es/blogs/merme/la-evolucion-de-los-vehiculos-electricos/>

[3] Jaime, L., Fonseca, H., & Universidad, D. (2011). *LITIO UNA ALTERNATIVA PARA??? Cells , Batteries And Lithium-Ion Batteries for an Alternative??* 41–48.

[4] Mar, J. A., Javier, L., & González, D. M. (2013). *CARRERA VEHÍCULO ELÉCTRICO : ANALISIS Y PROSPECTIVA DE FACTORES TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS Tutor :*

[5] Peña Ordóñez Carlos. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. (UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR). Retrieved from https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[6] Rodriguez, B. B. (2011). Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia. Retrieved July 13, 2019, from Foro Coches Eléctricos website: <http://www.forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

[7] Santamarta, J. (2009). *El futuro del automóvil es eléctrico Las soluciones van desde los híbridos enchufables a los vehículos totalmente eléctricos con baterías de ión litio o de otros materiales*. Retrieved from <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/63/39/a39.pdf>

[8] Vargas Fabre, J. A. (2012). Conversión a Auto Eléctrico Basada En Un Accionamiento Trifásico: Diseño, Modelación E Implementación. *Tesis Conjunta, 1*, 91. Retrieved from http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20784%5Cnhttp://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-vargas_jf/pdfAmont/cf-vargas_jf.pdf %5Cn<http://www.anac.cl/uploads/web/03> - ANAC - Mercado Automotor Marzo 2017.pdf